

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-121893

(P2003-121893A)

(43) 公開日 平成15年4月23日 (2003. 4. 23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-73-ド* (参考)	
G 0 2 F	1/365	G 0 2 F	1/365	2 K 0 0 2
	1/313		1/313	5 K 0 0 2
H 0 4 B	10/04	H 0 4 B	9/00	E
	10/06			L
	10/142			

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-311998 (P2001-311998)

(22) 出願日 平成13年10月9日 (2001. 10. 9)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 柴田 泰夫

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 鈴木 安弘

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

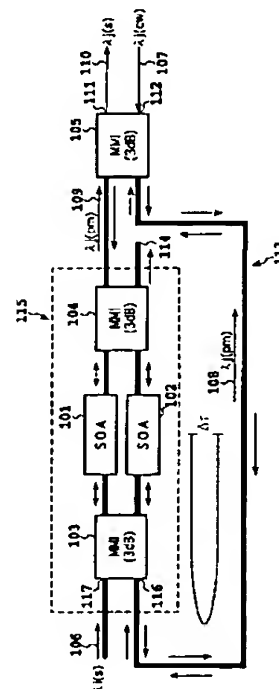
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光制御素子

(57) 【要約】

【課題】 波長フィルタが不要であり、かつ、同一波長変換が可能な、高速波長変換機能を有する光制御素子を提供すること。

【解決手段】 光制御素子の波長変換回路に、フィルタ付き位相変調器115を備える構成とした。また、フィルタ付き位相変調器115に備えるSOA101、102の長さを最適化することとし、 $\Delta\tau$ よりも $\tau_r$ が小さくなるようにSOA長 $L_{SOA}$ を設定した。これにより、入力信号光と被波長変換光とを分離するために、出力側のポート111に波長フィルタを設置する必要がなくなり、入力信号光の波長 $\lambda_i$ と被波長変換光の波長 $\lambda_r$ とが同一の場合でも波長変換が可能な光制御素子を提供することが可能で、高速かつ高消光比のフィルタ・フリーの波長変換動作が可能な光制御素子を提供することが可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 任意波長の第1の入力光の強度に応じて該第1の入力光の波長と同一または異なる波長の第2の入力光を変調する光制御素子であって、

前記第2の入力光を2つに分岐させる第1の光分岐手段と、

該第1の光分岐手段によって分岐された第2の入力光の一方を遅延させる遅延手段と、

前記第1の入力光と、前記遅延手段によって遅延を受けた第2の入力光のそれぞれを2つの入力ポートに分岐させる第2の光分岐手段と、

前記2つの入力ポートのそれぞれに接続された2つの位相変調手段と、

該2つの位相変調手段から出力される第1の入力光を合波して一方の出力ポートに導くとともに、前記2つの位相変調手段から出力される第2の入力光を合波して他方の出力ポートに導く第1の合波手段と、

該第1の合波手段から出力された第2の入力光と、前記第1の光分岐手段により分岐された第2の入力光の他方とを合波する第2の合波手段とからなり、

前記位相変調手段は、第1の入力光の光強度に応じて屈折率が変化する媒質を備え、

該媒質中を光が伝播するに要する時間が、前記第2の入力光の遅延時間の半分よりも短くなるように前記媒質の長さを設定したことを特徴とする光制御素子。

【請求項2】 前記位相変調手段は半導体増幅器であることを特徴とする請求項1に記載の光制御素子。

【請求項3】 前記第2の分岐手段と前記位相変調手段と前記第1の合波手段とから構成される光回路は、対称型マッハツェンダ光回路であることを特徴とする請求項1又は2に記載の光制御素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光制御素子に関し、より詳細には、波長多重光ネットワークにおいて、任意波長の入力信号光強度に応じて、その入力信号光の波長と同一波長または別波長の光を変調するための光制御素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、波長の異なる複数の光信号を1本の光ファイバに結合して伝送するシステムとして、波長多重を利用した光伝送システム(WDMシステム)が知られており、このWDMシステムは、1対1の光伝送のみならず、ネットワーク化に対応した光伝送技術としての開発が急速に進められている。

【0003】ネットワーク化に対応可能なWDMシステムでは、光ファイバ中を伝送する信号光を、これと同一波長または別波長の信号光へと波長変換するための、光制御素子の開発が重要となる。

【0004】図3は、従来の光制御素子に採用されてい

る波長変換回路の構成を説明するための図で、この波長変換回路は、半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)301と、このSOA301の両側に設けられたMMIカブラ(マルチモード干渉カブラ)302、303と、このMMIカブラ302、303の間に設けられたループ型干渉回路309とから構成されている。

【0005】波長 $\lambda_j$ の連続光(CW光)305が、MMIカブラ303のポート311に入射し、MMIカブラ303により2つに分割された後、ループ型干渉回路309へと導かれる。このループ型干渉回路309では、MMIカブラ303からSOA301に至る一方の回路長は、MMIカブラ303からSOA301に至る他方の回路長に比較して、 $\Delta L$ だけ長くなるように設計されている。

【0006】MMIカブラ303により分割された波長 $\lambda_j$ の2つの連続光は、各々、右回りの光307又は左回りの光306としてループ型干渉回路309を一周した後にMMIカブラ303で合波され、ポート311から出射される。

【0007】一方、この波長変換回路に、波長 $\lambda_i$ の信号光304をMMIカブラ302から入射しSOA301へと導くと、信号光304による誘導放出が生じ、SOA301内のキャリア密度が減少し、これに対応して、SOA301内の屈折率が変化する。そして、ループ型干渉回路309中を導波する波長 $\lambda_j$ の連続光は、SOA301内を通過する際に、この屈折率変化の影響を受けて位相が変化する事となる。そして、入力した波長 $\lambda_i$ の光信号の内容は、波長 $\lambda_j$ の光信号へと移り、出力光308がポート310から出力される事となる。

【0008】図4(a)、(b)は、図3に示した構成の波長変換回路の動作原理を説明するための図で、図4(a)は、ループ型干渉回路309中を導波した後にMMIカブラ303へと入射する波長 $\lambda_j$ の連続光の位相変化の様子を説明するための図であり、図4(b)は、MMIカブラ303に備えられたポート310から出射される波長 $\lambda_j$ の連続光の光強度変化の様子を説明するための図である。

【0009】図4(a)に示すように、右回りの光307がSOA301内を通過する際には、上述したSOA301の屈折率変化の影響を受けて位相が変化し、その位相変化量は、一旦、急峻に立ち上がり、その後SOA301内のキャリア濃度が熱平衡状態に回復するのに伴って、元の位相へと回復し、その状態でMMIカブラ303へと入射する。

【0010】左回りの光306もこれと同様の位相変化を受けるが、左回りの光306は、右回りの光307に比較して、SOA301を通過してからMMIカブラ303に入射するまでに伝播する回路長が $\Delta L$ だけ長く設

定されているため、この回路長さ $\Delta L$ に対応する遅延時間である伝播時間差 $\Delta \tau$  ( $=\Delta L/(c/n_{eqo})$ ):  $c$ は真空中の光速、 $n_{eqo}$ はループ型干渉回路309を構成する導波路の等価屈折率)だけ遅れてMMIカブラ303へと入射することとなる。その結果、MMIカブラ303に入射する右回りの光307の位相変化の立上がり時刻と左回りの光306の位相変化の立上がり時刻が、 $\Delta \tau$ だけずれることになる。

【0011】図4(b)は、MMIカブラ303に入射した左回りの光306と右回りの光307とがMMIカブラ303内で干渉した結果として、ポート310から出射される波長 $\lambda_j$ の連続光の光強度 $P$ の時間変化を示しており、左回りの光306と右回りの光307の互いの位相が異なっている時間間隔 $\Delta \tau$ の間だけ波長 $\lambda_j$ の光強度 $P$ が得られ、入力した波長 $\lambda_i$ の光信号の内容は、波長 $\lambda_j$ の光信号へと移り、出力光308がポート310から出力されることとなる。

【0012】このようなループ型干渉回路を有する波長変換回路では、SOA301中のキャリア濃度の回復に対応して光の位相変化量が漸近的に回復するまでの時間領域のうち、時間間隔 $\Delta \tau$ 以外の領域における左回りの光306と右回りの光307の位相変化量は同一であるために、相互に干渉を生じてSOA301内の屈折率変化の効果がキャンセル(キャンセルアウト)され、高速波長変換を可能としている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図3に示した構成のループ型干渉回路を備える波長変換装置では、入力信号光と出力光とが同一のポートから出射されることとなるため、入力光と出力光とを分離するための波長フィルタを出力ポートに設置する必要があった。

【0014】また、信号光の波長 $\lambda_i$ と被波長変換光の波長 $\lambda_j$ が同一となる場合には、波長変換前後の光を波長フィルタで分離することができず、波長変換前の光が出力光に混入して雑音となり、同一波長変換が困難であるという問題点もあった。

【0015】本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、波長フィルタが不要で、かつ、同一波長変換が可能な、高速波長変換機能を有する光制御素子を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、任意波長の第1の入力光の強度に応じて該第1の入力光の波長と同一または異なる波長の第2の入力光を変調する光制御素子であって、前記第2の入力光を2つに分岐させる第1の光分岐手段と、該第1の光分岐手段によって分岐された第2の入力光の一方を遅延させる遅延手段と、前記第1の入力光と、前記遅延手段によって遅延を受けた第2の入力光のそれぞれを2つの入力ポートに分岐させ

る第2の光分岐手段と、前記2つの入力ポートのそれぞれに接続された2つの位相変調手段と、該2つの位相変調手段から出力される第1の入力光を合波して一方の出力ポートに導くとともに、前記2つの位相変調手段から出力される第2の入力光を合波して他方の出力ポートに導く第1の合波手段と、該第1の合波手段から出力された第2の入力光と、前記第1の光分岐手段により分岐された第2の入力光の他方とを合波する第2の合波手段とからなり、前記位相変調手段は、第1の入力光の光強度に応じて屈折率が変化する媒質を備え、該媒質中を光が伝播するに要する時間が、前記第2の入力光の遅延時間の半分よりも短くなるように前記媒質の長さを設定したことを特徴とする。

【0017】また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光制御素子において、前記位相変調手段は半導体増幅器であることを特徴とする。

【0018】更に、請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の光制御素子において、前記第2の分岐手段と前記位相変調手段と前記第1の合波手段とから構成される光回路は、対称型マッハツェンダ光回路であることを特徴とする。

【0019】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0020】図1は、本発明の波長変換回路の構成例を説明するための図で、この波長変換回路は、フィルタ付き位相変調器115と、このフィルタ付き位相変調器115とループ型干渉回路113により接続されたMMIカブラ105とから構成されている。

【0021】フィルタ付き位相変調器115は、2つのSOA101、102を備え、これらのSOAの両側には、それぞれのSOAに接続されたMMIカブラ103、104が設けられている。

【0022】波長 $\lambda_i$ の連続光107が、ポート112からMMIカブラ105へと入射し、MMIカブラ105により2つの連続光に分割されてループ型干渉回路113へと導かれる。

【0023】MMIカブラ105により分割された2つの連続光は、右回りの光109及び左回りの光108に別れてループ型干渉回路113を伝播し、フィルタ付き位相変調器115を経て、ループ型干渉回路113を一周した後、MMIカブラ105で合波されてポート112から出射される。

【0024】本実施例では、フィルタ付き位相変調器115には、フィルタ機能を有する素子として対称型マッハツェンダ回路を採用することとし、その回路は、MMIカブラ103と104とが、SOA101と102とを含む2つの導波路(アーム)で結ばれた構成となっている。

【0025】一般に、対称型マッハツェンダ回路では、

入射した光が、カップラ内で分波され、それぞれ2つの導波路（アーム）を通り、再びカップラで合波され、入射ポートとクロス的位置にある出射ポートに出力される仕組みになっている。本実施例では、マッハツェンダ回路が奏するかかる性質を利用してフィルタとして使用している。

【0026】波長 $\lambda_1$ の信号光106を、ポート117を介してフィルタ付き位相変調器115内に備えるMMIカプラ103に入射させる。入射された信号光106は、2つに分割され、各々の信号光はSOA101、102を通過し、MMIカプラ104で合波されて、信号光が入射するポート117とクロス的位置にあるポート114へと抜ける。すなわち、この入力信号光106は、マッハツェンダ回路がもつフィルタ機能により、ループ型干渉回路113内に入ることはない。

【0027】入力信号光106がSOA101及びSOA102内を通過する際には、上述した理由によりSOA101及びSOA102内の屈折率が変化する。ループ型干渉回路113内を導波している左回りの光108および右回りの光109は、フィルタ付き位相変調器115内のSOA101又はSOA102を通過する際に、これらのSOA内の屈折率変化の影響を受け、図4(a)に示した左回りの光306および右回りの光307と同様の位相変化をおこす。

【0028】すなわち、右回りの光109は、急峻な位相変化をおこし、その後はSOA内のキャリア濃度の回復速度に応じた時間で元の位相へと戻り、MMIカプラ105へと入射する一方、左回りの光108もこれと同様の位相変化を受けるものの、ループ型干渉回路113を伝播する回路長差 $\Delta L$ に対応する時間 $\Delta \tau$ だけ右回りの光109に遅れてMMIカプラ105へと入射する結果、MMIカプラ105中では、右回りの光109と左回りの光108の位相変化が起きる時間が、 $\Delta \tau$ の間だけずれることになる。そして、このような位相状態の左回りの光108と右回りの光109がMMIカプラ105中で干渉を起こす結果として、図4(b)に示した光強度と同様に、左回りの光108と右回りの光109の位相が互いに異なっている時間間隔 $\Delta \tau$ の間だけ光強度を有する波長 $\lambda_2$ の光がポート111から出射され、入力した波長 $\lambda_1$ の光信号の内容が、波長 $\lambda_2$ の光信号へと移り、ポート111から出力されることとなる。

【0029】このループ型干渉回路を有する波長変換回路では、SOA101、102中のキャリア濃度の回復に対応して光の位相変化量が漸近的に回復するまでの時間領域のうち、時間間隔 $\Delta \tau$ 以外の領域における左回りの光108と右回りの光109の位相変化量はキャンセルアウトされ、SOA101、102内の屈折率変化の影響を受けることがなくなるため、高速波長変換が可能となる。

【0030】上述したように、本実施例に示した構成の

波長変換回路では、フィルタ付き位相変調器115に、フィルタ機能を有する対称型マッハツェンダ回路を採用することとしているので、入力光106はポート114に抜け、ポート111に出力されることはない。すなわち、入力光と出力光とを分離するために、出力側のポート111に波長フィルタを設置する必要がない。このため、信号光の波長 $\lambda_1$ と被波長変換光の波長 $\lambda_2$ とが同一の場合であっても、波長変換前の光が出力光に混入してしまい雑音が生じてしまうという問題を回避することが可能となる。

【0031】しかしながら、図1に示した構成のループ型干渉回路を備える波長変換装置は、フィルタ機能を有する対称型マッハツェンダ回路を備えることとしているため、以下の点に注意する必要がある。

【0032】すなわち、マッハツェンダ回路におけるスイッチングは、干渉計のアームを構成する媒質の屈折率変化 $\Delta n$ と、屈折率が変化する部分の長さ $L$ との積が、 $\Delta n \times L = \pi$ となったときに生じるため、低パワー動作のためには $L$ が大きくなるように設計するのが一般的である。

【0033】また、一般的な対称型マッハツェンダ回路では、1つまたは2つの信号光を入射させる場合を想定しており、2つの信号光が入射する場合には、互いの進行方向は、同方向または逆方向の何れかとなる。そのため、信号光の進行方向が同方向または逆方向の何れかの条件に対して最適な条件となるように設計することで充分であり、アームの屈折率変化部分の長さは長い方が有利となる。

【0034】しかしながら、本発明の波長変換回路の構成では、入射光は、左回りの連続光108、右回りの連続光109、および、信号光106の3つであり、右回りの連続光109は信号光106と同一方向に伝搬するのに対し、左回りの連続光108は信号光106とは逆の方向に伝搬する。このため、マッハツェンダ回路内において、同方向と逆方向の光伝搬が同時に進行していることとなる。

【0035】そして、右回りの連続光109は、信号光106と同一方向に伝搬するために、信号光106により屈折率が変化した状態でのSOA101内を伝播して、SOA101の長さ $L_{SOA}$ 全体にわたり位相変化を受けることとなる一方、左回りの連続光108は、信号光106とは逆方向に伝搬するために、SOA101内において信号光106と出会うまではSOA101内の屈折率変化の影響を受けず、SOA101に入射してから位相変化量が立上がるまでには、 $t_r = 2 \cdot L_{SOA} / (c / n_{eq})$ の時間を要することとなる。ここで、 $c$ は真空中の光速であり、 $n_{eq}$ はSOAの等価屈折率である。

【0036】図2(a)～(d)は、図1に示した構成の波長変換回路の動作原理を説明するための図で、図2

(a) および (b) は、SOA 101、102 の長さ  $L_{SOA}$  が  $\Delta L$  と同程度以上の場合の連続光の位相変化 (図2 (a)) およびポート 111 より出射される被変換光の光強度  $P$  (図2 (b)) を示し、図2 (c) および (d) は、SOA 101、102 の長さ  $L_{SOA}$  を後述する条件に基づいて最適化した場合の連続光の位相変化 (図2 (c)) およびポート 111 より出射される被変換光の光強度  $P$  (図2 (d)) を示している。

【0037】図2 (a) に示すように、SOA 101、102 の長さ  $L_{SOA}$  が  $\Delta L$  と同程度以上の場合には、右回りの光 109 の位相変化量は急激な立上がりを示すのに対して、左回りの光 108 の位相変化量は、時間間隔  $t_r$  に亘る緩やかな立上がりを示し、このような位相状態の左回りの光 108 と右回りの光 109 とが干渉した結果としてポート 111 から出射される波長  $\lambda_j$  の被変換光の波形は、図2 (b) に示すように変形してしまう。このため、高速動作が困難となるのみならず、被変換光の強度低下によって消光比も低下し、更には、信号光のクロストーク成分との強度比を充分大きく確保することが困難となるためにフィルタ・フリー動作が困難となる。

【0038】すなわち、高速かつ高消光比のフィルタ・フリーの波長変換動作を実現するためには SOA 長  $L_{SOA}$  を最適化する必要がある、 $\Delta\tau$  よりも  $t_r$  が小さくなるように設計することが重要である。

【0039】具体的には、  

$$L_{SOA} = (c/n_{eq}) \cdot t_r / 2 < (c/n_{eq}) \cdot \Delta\tau / 2 = (c/n_{eq}) \cdot \Delta L / (c/n_{eq0})$$
 すなわち、  

$$L_{SOA} < (n_{eq0}/n_{eq}) \cdot \Delta L / 2$$
 なる条件を満足するように  $L_{SOA}$  を設定することが必要である。

【0040】SOA 長  $L_{SOA}$  を上述の条件の基で最適化した場合には、図2 (c) に示すように、左回りの光 108 の位相変化量の立上がり時間間隔  $t_r$  が狭くなる結果、左回りの光 108 と右回りの光 109 の位相変化量は、共に急峻な立上がりを示すようになり、その結果、ポート 111 に出射される被変換強度波形も、図2 (d) に示すように変形のない、かつ、光強度の強い波形が得られるようになり、これにより高速動作が実現可能となる。

【0041】本実施例では、第1の入力光の光強度に応じて屈折率が変化する媒質により SOA を構成することとしたが、SOA の構造は任意であり、例えば、InGaAsP、GaAs、AlGaAs、InGaAs、GaInNAs 等の材質を用いて活性層を形成することとしてもよい。

【0042】また、活性層構造に関しても、バルク構造、MQW構造、量子細線構造、量子ドット構造等のいずれの構造であってもよく、導波路構造に関しても、p

n埋め込み構造、リッジ構造、半絶縁埋め込み構造、ハイメサ構造等のいずれの構造を採用した場合でも同様な効果が期待できる。

【0043】また、上述した実施例では、カブラとして MMI カブラを用いているが、方向性結合器を用いることとしてもよい。

【0044】更に、導波する連続光の位相を変化させる素子は SOA に限定されるものではなく、光強度に応じて屈折率を変化させ得る素子であれば、位相変調器や強度変調器等の適用も可能である。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光制御素子には、フィルタ付き位相変調器を備えることとし、かつ、フィルタ付き位相変調器に備える SOA の長さを最適化することとしたので、入力信号光と被波長変換光とを分離するために、出力側のポートに波長フィルタを設置する必要がなく、入力信号光の波長  $\lambda_i$  と被波長変換光の波長  $\lambda_j$  とが同一の場合でも波長変換が可能な光制御素子を提供することが可能となる。

【0046】また、 $\Delta\tau$  よりも  $t_r$  が小さくなるように SOA 長  $L_{SOA}$  を最適化したので、高速かつ高消光比のフィルタ・フリーの波長変換動作が可能な光制御素子を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光制御素子に採用されている波長変換回路の構成を説明するための図である。

【図2】本発明の光制御素子に採用されている波長変換回路の動作原理を説明するための図で、(a) および (b) は、SOA 長  $L_{SOA}$  が  $\Delta L$  と同程度以上の場合の連続光の位相変化およびポートより出射される被変換光の光強度を説明するための図であり、(c) および (d) は、SOA 長さ  $L_{SOA}$  を最適化した場合の連続光の位相変化およびポートより出射される被変換光の光強度を説明するための図である。

【図3】従来の光制御素子に採用されている波長変換回路の構成を説明するための図である。

【図4】従来の光制御素子に採用されている波長変換回路の動作原理を説明するための図で、(a) は、ループ型干渉回路中を導波して MMI カブラに入射する波長  $\lambda_i$  の連続光の位相変化の様子を説明するための図であり、(b) は、ポートから出射される波長  $\lambda_j$  の連続光の光強度変化の様子を説明するための図である。

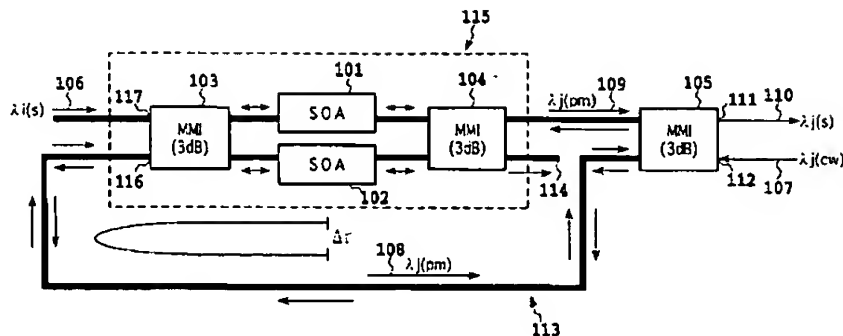
【符号の説明】

101、102 SOA  
 103、104、105 MMI カブラ  
 106 信号光  
 107 CW光  
 108 左回りの光  
 109 右回りの光  
 110 出力光

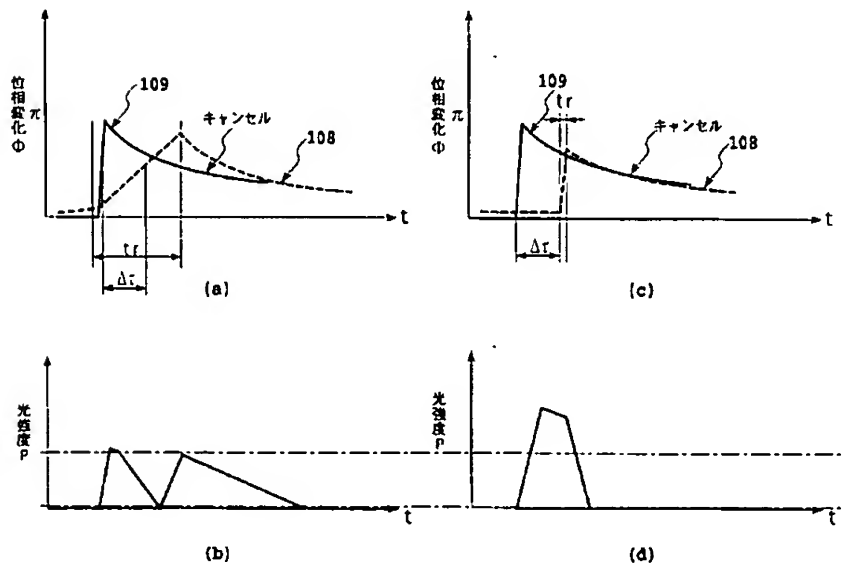
111、112、114、117 ポート  
 113 ループ型干渉回路  
 115 フィルタ付き位相変調器  
 301 SOA  
 302、303 MMIカプラ  
 304 信号光

305 CW光  
 306 左回りの光  
 307 右回りの光  
 308 出力光  
 309 ループ型干渉回路  
 310、311 ポート

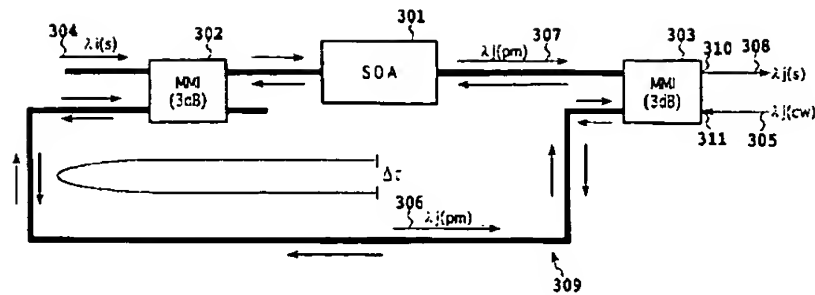
【図1】



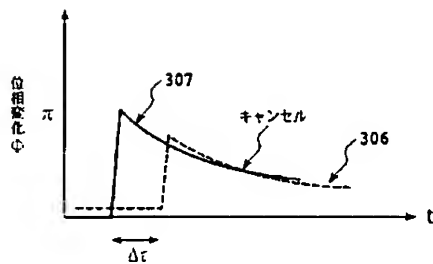
【図2】



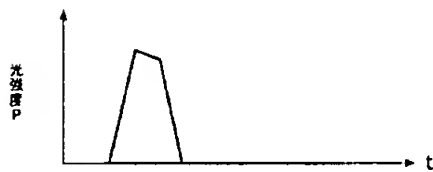
【図3】



【図4】



(a)



(b)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H04B 10/152

H04J 14/00

14/02

識別記号

F I

テーマコード(参考)

(72)発明者 界 義久

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 須崎 泰正

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 岡田 顕

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 野口 一人

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(S)

特開2003-121893

(72)発明者 佐藤 里江子  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 BA02 DA11 EA30  
GA10 HA16  
5K002 AA02 AA06 BA02 BA04 DA02  
FA01